

英国和欧洲的热电联产

—热电联产工程系列报告之二

强国芳 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所无锡分部)

[摘要]通过对英国在热电联产(CHP—Combined Heat and Power)工程方面的现状、水平、效益、经营方式及发展前景等进行全面、系统、概括的介绍,旨在引起广大热能动力工作者及相关机构和部门的兴趣和重视,并系统考虑抓紧进行自己的工作。

关键词 热电联产 区域供热 独立产能者

分类号 TM611 TM621

1 热电联产的基本概念和发展情况

1.1 基本概念

所谓的热电联产是指在单一的过程中同时生产电力和有用的热,而电和热的用户(消费者)同时又是能的生产者,成为所谓的“独立产能者”(Independent Energy Producer)。即:利用某一种发动机(往复机、汽轮机、燃气轮机…等)来驱动发电机。发出的电则输入用户自己的电力系统,在有剩余时甚至外售。而发动机的排气及各种冷却水中所含的热量则用来加热中压或低压的热水,供用户或一定区域中生活及工艺过程的需要。较新的发展则还与吸收式制冷结合起来,成为一套所谓的“热电冷三联供”系统。

在热电联产中所用的燃料以天然气为最主要,但也可以烧煤、油、木材以至利用各种城市垃圾和地热等。所以,热电联产所用的发动机往往是双燃料系统的,燃气轮机则还涉及

流化床和联合循环或蒸汽回注等。由此可见,CHP在燃料的多种性,容量的广阔范围(最低功率约为30 kW)方面是很灵活的。同时,它又是多种技术的综合应用。

这里需要强调指出的是,诸如活塞式发动机,燃气轮机,蒸汽轮机等都可以作为CHP的发动机。根据用户热和电需求量之比值的不同以及电功率的大小,它们各有其适用的范围。

表1示有往复机,燃气轮机和蒸汽轮机的典型特性数据。可以看出,往复机的电功率较小,发电效率较高,初投资不大,运行和维护费用偏高,其热和电之比约为1:1~3:1,而电功率在30 kW到6000 kW之间。燃气轮机或其联合循环适用于热电比为1:1~5:1,电功率为1000 kW以上的范围,其发电效率较高,初投资及运行维护费用均适中。至于各种蒸汽轮机则适用于电功率在500 kW以上,热电比为3:1~10:1或更大的范围,其运行维护费用最低,但发电效率也最低。

收稿日期 1993-11-15 收修改稿 1994-03-28

本文联系人 强国芳 男 60 教授级高级工程师 214151 无锡 117 信箱

表 1 各型发动机的典型特性数据

| 型式 | 往复式发动机 | 燃气轮机 | 蒸汽轮机 |
|-----------------|--------------------------|----------------|-------------------|
| 电功率范围 (kW) | 30~6.000 (20000) | ≥1000 ~3000 | ≥500 |
| 热与功之比 | (0.5:1):1:1 ~3:1(5:1) | 1:1~5:1 | 3:1~10:1 (或更大) |
| 发电效率 % | 25~42 | 25~50 | 7~20 |
| 总效率 % | 65~78 | 65~85 | 75~84 |
| 初投资(英镑/千瓦电功率) | 500~850 | 500~1500 | 600~2000 |
| 运行维护费用(便士/千瓦小时) | 0.4~0.8 | 0.2~0.7 | 0.1 |

图 1 则给出了采用不同型式的发动机和系统时,其典型的热量(H)与功率(P)的比值。应该指出的是,由于要实现独立产能,因此,一般的发动机都是比较小的。这就给各种小功率的发动机提供了用武之地(当然要求高效率和高可靠性)。关于象飞机场、城市集中供热和制冷等工程,其规模就十分可观了。

热电联产在 19 世纪就开始了在工业中应用,区域供热也是早就有的。但是,直到本世纪 80 年代,CHP 才如雨后春笋般的“热闹”起来。为此,既需要了解 CHP 的作用和意义,也应该知道影响 CHP 迅速推广的阻力或障碍之所在。

众所周知,传统火电站的热效率一般低于 40%,联合循环燃气轮机电站也不超过 55%,但是 CHP 的效率最高可以达到 90% 左右。因此,电的价格一般可以降低(25~40)%。此外,由于减少了分散林立的锅炉及其烟囱,CHP 节省了投资,减少了维修工作量。从环保意义上看 CO₂,SO₂ 及 NO_x 的排放

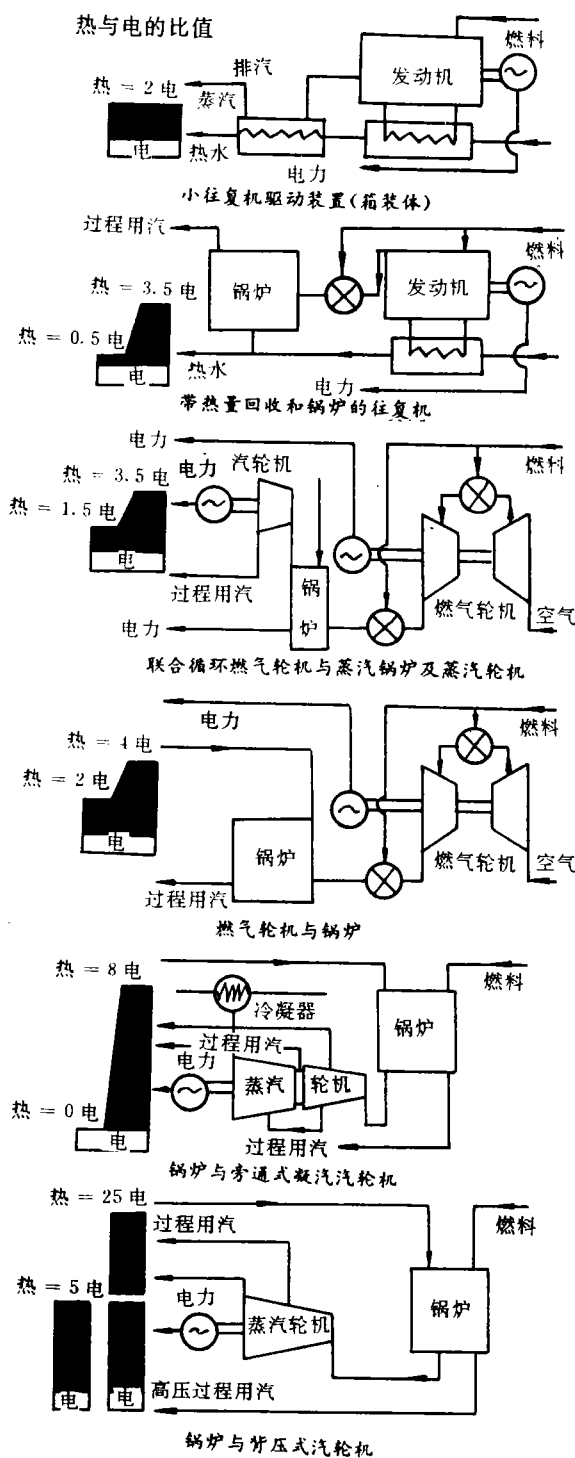


图 1 不同型式发动机的典型 H/P 值

量均可大大减少。与吸收式制冷结合后,又不需用破坏臭氧保护层的氟里昂,可以减缓地球变暖过程。所以,CHP本身的好处是多方面的。

另一方面,经济发展和生活水平的提高,各种用电设备、空调及个人计算机的广泛采用,使得电的需求量大大增加。当前世界各国对环境保护的要求越来越严格。蒙特利尔会议规定到1995年氟里昂要停止生产。英国还撤消了能源部而组建了环境保护部。所以CHP的客观需求也是喜人的。

但是,发展推广CHP还是有着不少的阻力。首先是在不同国家以不同形式存在着一些法规和条例不适合CHP的推广。其次,不少高层决策人士不了解CHP的全部有关信息。还有相当一部份用户对CHP技术上的可靠性和可维护性有所怀疑。更关键的是资金缺乏,一时难以大量投资采用。

1.2 发展现状及前景

根据本文参考文献中的报道,英国及有关欧洲各国CHP的发展现状和前景大致如下:

丹麦——热网比较发达,已与各医院和旅馆等建筑物接通,故小规模的CHP已无市场。

法国——核动力发达,有丰富的廉价电供应,故CHP尚未积极发展。但Rhone-Alpes地区已在进行市场调查研究;

比利时、希腊和葡萄牙——由于电力部门的垄断地位及气候比较温和等原因,CHP尚不发达。但是侧重于制冷的CHP市场不容忽视;

荷兰和德国——热网比较发达,适合优先发展小型的CHP。荷兰已有法规从技术上和税收方面支持各型CHP的优先发展,因此市场比较成熟。对德国来说,到2005年,各类建筑物采用CHP的潜在市场约为1000万千瓦,极为可观;

英国、意大利和西班牙——热网发展相对落后,已决定发展工业用的和小规模的CHP。其中英国政府于1990年发表的环境白皮书中提出,到2000年,CHP安装容量要翻一番,即达到400万千瓦。他们还发起在曼彻斯特成立一家CHP公司,负责3~40MW CHP的有关设计、安装、经营及投资合作等业务。在意大利,CHP的电力价格非常合适,相当于利用再生资源所发电力的水平。估计到2000年可增加5万个15~500kW的CHP机组。西班牙目前已有100万千瓦的CHP,国家能源计划规定到2000年应达到250万千瓦。

2 英国的热电联产

对英国来说,CHP的主要潜在市场是在工业领域。大城市的地区供热和空调由于规模大,投资多,周期长,尚处于起步阶段。而各种建筑物中的CHP则可以说五花八门,各有特色。

一般说来,如果一个地区电力供应比较紧张,热网建设尚未起步或尚未达到一定规模,而电价又相当贵,则CHP的前景就看好。如果那里的天然气储量比较充足,或者其它燃料价格比较便宜,那就更有前途。再加上环境保护的紧迫性,合理的价格和税收政策以及有效的财政支援措施,那差不多就是“万事俱备,只欠东风”,可以顺利实施了。

2.1 CHP用于工业中

对于工厂来说,应用CHP的最大好处是自己长期独立产能,不受外界制约,电价便宜,用不掉的可以出售。如果附近有天然气或工厂工艺过程中有各种伴生气副产品可以利用,则条件更成熟。像利用炼油厂催化裂化过程的烟气可以发展CHP。

污水处理厂伴生的生物气(biogas)也可

通过 CHP 来提高效益。Northumbrian 污水处理厂就签订了利用其七个污水处理池的生物气的 20 年合同。过程中的副产品甲烷被用于代替天然气进行 CHP, 既发电又供应热水。

苏格兰 Aberdeen 的造纸厂是用电大户, 后来决定以两台 Ruston 公司的燃气轮机为核心实行 CHP (22MW), 不仅满足了工厂生产过程对蒸汽和电的需要(电价降低 30%), 还向外界出售电力, 效益十分明显。

曼彻斯特的淀粉厂也是类似的情况, 但用的是两台 Tornado (2×6 MW) 燃机。

2.2 CHP 用于城市建设

在大城市中实行 CHP 往往还结合着通过冷媒水分配系统为用户的制冷空调服务。因此这是一个十分庞大的工程, 要敷设广泛的地下管道向主要商业区和居民住宅供电、供热水、供冷媒水, 并且还要注意充分利用现有的管道、隧道、地下停车场等设施以减少对建筑物的破坏。

英国的城市地区供热落后于欧洲其它国家。迄今只有 Sheffield 和 Nottingham 两大城市已经实现了较大规模的地区供热工程并还在继续扩展。前者用城市垃圾焚烧炉获取热量, 但也在筹建烧天然气和洁煤的 CHP 系统; 后者则是用煤来加工处理城市废物垃圾实行 CHP 的。两城市的成功经验表明, 市政建设部门与燃料和动力部门以及工程公司的密切合作和协调至关重要。

伦敦将于 1994 年初在英国首次实现商用大厦的地区供冷(10~20 MW)。整个工程分成三个阶段, 从 30 MW 电功率和 30 MW 热功率逐步发展到 90 MW 电功率。在建设过程中要把原先只供热的锅炉改为备用和尖峰时用, 并且要配备散热器、热空气循环加热对流器、加热器和蓄热器等设备。微机控制和为计费用的热量计测系统也不可缺少。

这样的工程好处极多, 如前所述, 在环保方面作用极为明显。

其它如 Woking, Leicdster 和 Edinburgh 等城市也都在酝酿搞城市地区三联供的 CHP (主机均为燃气轮机或蒸汽轮机)。

2.3 CHP 用于各种建筑物

目前, 英国已有 500 个以上的各种建筑物采用 CHP 装置, 总的电功率约为 130 MW。表 2 为其分类统计。

实际上, 像寄宿学校, 警察署, 监狱, 军事基地, 农场及屠宰场等场合, 也都适合发展 CHP。

表 2 英国各种建筑应用 CHP 的统计

| 应用场合 | 装置数量 | 装置容量 (MW)(电功率) |
|------|------|-------------------|
| 卫生部门 | 110 | 40 |
| 高等院校 | 10 | 25 |
| 飞机场 | 3 | 20 |
| 休闲中心 | 200 | 10 |
| 旅馆 | 110 | 10 |
| 商店 | 5 | 7.5 |
| 机关 | 35 | 6 |
| 区域供热 | 5 | 5 |
| 其它 | 35 | 5 |
| 总计 | 513 | 128.5 |

从表 2 可以看出, 平均每个 CHP 装置的电功率约为 250 kW; 而小的如游泳池只有 30 kW 电功率左右, 大的如飞机场则可达 10 MW 电功率或更多。一般的休闲中心和旅馆, 其 CHP 平均电功率为 50~90 kW, 医院则为 360 kW 电功率左右。因此, 发动机的类型可以有不同的选择。

下面, 再逐个地对 CHP 在各种不同场合

中的应用作些说明。

2.3.1 飞机场

英国 Manchester 机场是世界最大的 20 个机场之一。新建候机楼工程总投资达 5 亿英镑,而 CHP 占 800 万英镑。由于机场需电量恒定,而且必须确保,故采用 CHP 很有利。CHP 主机的选择则取决于需热量和用电量之比,这里是选的 1 台燃机,3 台往复机。由于实现了热电冷三联供,估计每年可减少 CO₂ 排放物 5 万吨及,SO₂ 排放物 1000 吨,年发电 72 000 MW·h(259.2 TJ),供热量相当于购置 178.5TJ 的天然气,年总产值约 180 万英镑(含吸收式制冷每年节电价值 5 万英镑)。

2.3.2 高等院校

英国的高校原先基本上向地方电力公司买电,而依靠常规的蒸汽锅炉向校园供汽供热。采用 CHP 装置的好处是就地取材(烧天然气或林区的木材等),并且常可有多余的电力出售。CHP 的容量一般大于 1 MW,主机用燃气轮机(带蒸汽回注)的较多,通常第三年以后即可赢利。由于学校经费不充足,各种投资经营方式均有采用。

2.3.3 医院

英国医疗系统一年的能源费用高达 3 亿英镑,其中电费高达 1.35 亿,而且年增长速度为(6~8)%。卫生部门要求五年之内能耗减少 15%,实行 CHP 是一个主要措施。由于医院系统的电热负荷比较稳定,故十分适合于发展 CHP。

对各种医院(含精神病院等)来说,如果电功率小于 500 kW,可以用天然气为燃料,采用标准的 CHP 装置。而如果大于 500 kW,则任何燃料均可用,均为非标设计。需要特别考虑的是如何利用流化床锅炉来燃用医院的各种废弃物,如外科手套、工作服、注射器和针管等,以额外获取明显的环境效益。像美国,一个 500 床位的医院每年要花 15 万美元

用来处置本身的废弃物,如是治疗艾滋病的医院费用则要加一倍。如采用高温流化床,则既可现场处理这些有传染性的垃圾,又可发电供医院使用。

英国已有好多家妇产科医院,精神病院和大公司的医务室采用 CHP。主机有往复机(煤气机,柴油机等)和燃气轮机等不同选择。由于利用率高,通常不到三年即可回收全部投资。

2.3.4 旅馆和休闲中心

这些单位是实行 CHP 的理想用户。一是负荷稳定,利用率较高,二是顾客比较追求舒适的享受,三是旅游点的环保要求更高,而且规模和容量一般较小,投资少,回收快。

3 热电联产的工作程序和基本经验

根据前面分析,实行 CHP 是一项系统工程。所以在组织机构、投资经营方式以及新技术研究等方面需要采取综合措施,方能取得良好成效,他们的做法是:

3.1 组织机构方面

英国设有“能量效率办公室”(EEO—Energy Efficiency Office),根据不同的用户对象,宣传 CHP 的优越性,总结出版“最佳实践方案”,指导 CHP 的工程实施;“能源技术支持机构”(ETSU—Energy Technology Support Unit),从用户的热电负荷分析和内部管理水平以及资金落实情况出发,制订各种技术和工艺的详细规定,以推广有关经验;“建筑物节能研究支持机构”(BRESCU—Building Research Energy Conservation Support Unit),代表 EEO 发布一系列的文件及典型的可行性研究,侧重监督和促进 CHP 的实施。“热电联产协会”(CHPA—Combined Heat and Power Association),其职能则是与政府、会议和欧共

体一起,自上而下地促进 CHP 的推广实施,并且组织进行具体的 CHP 经营活动;在该协会下属有包含软件到硬件近百个咨询、设计、工程、制造、安装、调试单位。英国的 CHPA 还与欧共体一起商研对 CHP 有重要影响的大问题,诸如提出能源排放税,限制对电力的垄断,制定节能计划和目标以及对中欧和东欧地区的电力规划和 CHP 的推广等。

3.2 投资经营方面

尽管 CHP 能极有效地利用一次能源,明显降低能源费用,但整个 CHP 装置以及电和热的输送分配系统投资相当贵。对英国来说,估计每 1 千瓦装置容量约需 500 至 700 英镑。为此,目前有如下三种投资经营方式:

3.2.1 直接投资 如果用户有充足资金,直接投资的效益最好,当然风险也最大(需 3~5 年才能回收)。但用户可享受一定的优惠和贷款。

3.2.2 制造厂投资,用户租用 CHP 这种方式对建筑物的 CHP 是较为普遍采用的:用户不投资,制造厂负责提供 CHP 设备在用户处投入使用,用户只付燃料费用并以一定的优惠价格(例如市价的 50%)向投资者买热买电(价格每年商定一次,合同则为 5~10 年)。由于是制造厂投资和负责维护,所以用户的风险最小,当然用户的效益亦要比自己直接投资小得多。所以往往不等合同期满,用户就提出要把此 CHP 买下来。

3.2.3 制造厂投资,用户享有最低的保证收益(GMS—Guaranteed Minimum Savings)

此种模式是在合同期内,对用户保证享有年收益的一定比例,而超出的部分则再由制造厂与用户之间分享。显然,它比前面一种方式更有吸引力。

3.2.4 合同能量管理(CEM—Contract Energy Management) 这种模式的特点是用户不需投资,但合同规定投资可由收益来冲抵,到合同结束时,用户即拥有此 CHP 装置和系

统。此时,部分或全部风险由 CEM 的公司负担(电和热的价格与前述模式显然不一样了)。这种模式对于大于 1MW 电功率的 CHP(总投资超出 50 万英镑)较为合适。但是采用此种模式需对合同期限内燃料、电、热、运行、维护等各种价格或费用进行仔细的测算。

3.3 技术措施方面

技术进步对 CHP 的成功是关键性的。只有效率高,效益才会好。而可靠性、维护性改进了,用户才会更加放心满意。

CHP 装置或系统的关键设备,除了各种型式的发动机,余热锅炉、热交换器、吸收式制冷机等关键设备外,还包括各种燃料设备(垃圾焚烧炉、木材反应炉、压力流化床…等)、蓄热器以及安全、控制系统等。在供热方面,也有一些课题需要研究,例如降阻添加剂,管道连接技术,温度、流量等参数的测量和显示…等。关于 CHP 的环境效益,需要编制计算机评估程序。利用 CHP 进行地区空调制冷,还应进一步研究总结。

3.4 实行 CHP 的工作程序

根据有关资料,大致如下:

3.4.1 先节能 用户在决定采用 CHP 之前,一定要进行热平衡测试分析,以切实减少对电和热(冷)的需求量,使所建设的 CHP 装置容量小些,投资少些(通常 150~500 kW 电功率的 CHP 较为合适,≤100 kW 电功率时成本相对较高)。

3.4.2 再调查 在起步阶段,要开展广泛的用户调查,掌握和熟悉各种社会、经济、历史、技术资料(如热和电负荷的稳定性,燃料与电力的价格比,不同的税期和税率,电力紧缺情况,热网发达程度…等)。

3.4.3 仔细认真总结 在进行可行性论证时,核心是分析发电和供热的效率和价格以及电和热的输送和分配的费用。还应考虑了 CHP 以后向外界售电的问题。对原有设备、场地、输配系统及建筑的利用、改造、更

新、扩充都应很好计及。为此,及时总结制订有关的指导原则和技术手册至关重要。

3.4.4 时间和季节的影响 一般说来,如果用户在一年中有4 500~5 000小时及以上的时间中有稳定的对电和热(冷)的需求,那CHP就很有生命力,值得上。而且,CHP在冬天的收益更大,所以即使有的用户主要是冬天使用,CHP还是值得考虑的。在论证中需对此有基本的认识。

4 结束语

在大约四年前我们开始考虑热电联产的时候,仅仅是着眼于低压工业锅炉的节能改造。为此,率先开发了高效节能型向心式汽轮发电机组。这几年的实践使我们认识到,光有主机远远不够,效益再明显也一时难以迅速发展。这就使我们回过头来研究一下外国是怎么搞的,就是有上面那么多的问题要解决,办法也已有了那么多。

根据我国广大地区的实际发展水平,可以说,我国实行CHP的紧迫性和有利条件比英国更大更多,但困难和阻力也比较大。看来,有一个自上而下以及自下而上相结合的问题。英国的大部分做法还是可以借鉴的。

但是有一条,就是结合中国国情,大规模推广以燃气轮机为主机的CHP条件尚不太

成熟。因此,积极发展高效节能型的热电联产的各种背压、抽汽、抽凝式的轴流式尤其是向心式的汽轮机仍是一个方向。

CHP在中国逐步推广以后,相信必然会带动相当一批企业,使它们环绕节能和环保,追求先进性、可靠性和可维护性,推出新产品,反过来促进CHP的进一步发展。

对于我们热能动力工作者来说,CHP工程是一项很有意义也很有吸引力的事业。

作者特别感谢陈金宝高工在技术资料上提供的帮助,也对吴新华、方洪祖、董祖康、虞洪庆、叶兆谷等高工的关心和鼓励表示谢意。

参 考 文 献

- 1 Bontius G H. Cogeneration and district heating in the Netherlands. Global Gas Turbine News, IGTI, 1990 November
- 2 Combined Heat and power Association. Yearbook, 1993 London, England
- 3 Focus on CHP for Buildings. An Energy Management Supplement. Jan/Feb, 1993
- 4 Combined Heat and Power Association Annual Review. 1992—1993
- 5 虞洪庆,叶兆谷,强国芳.节能型向心式蒸汽轮机——热电联产工程系列报告之一,热能动力工程,1991,6(6)
- 6 The Application of Combined Heat and Power in the UK Health Service. By Energy Technology Support Unit, 1992

【 引 进 消 息 】

引进 CFB 电站设备

据“Gas Turbine World”1993年11—12月号报道,中国国家技术进出口公司授于Ahlstrom为首的国际集团公司一项合同,由其供应辽宁省盘锦联合生产电站设备。

计划于1995年投入运行,该电站将为辽黑化肥厂提供工艺过程用的蒸汽和电力。

该集团公司将供应一台153 MW Ahlstrom Pyroflow循环流化床锅炉,一台奥地利能源和环境公司制造的28 MW汽轮机和一台奥地利Elin公司制造的发电机。

Ahlstrom公司发言人说,这是在18个月内来自中国的第6台锅炉订货,这些合同的总金额为一亿二千五百万美元。象其它系统那样,盘锦的循环流化床锅炉将烧中国的高硫分煤,但是其烟囱的有害物排放量将是低的。
(学牛 供稿)

CONTENTS

- (130) **Cogeneration Technology in England and Europe-- the Second in a Series of Reports Concerning Cogeneration**Qiang Guofang(*Harbin Marine Boiler and Turbine Research Institute*)

Through a brief, comprehensive and systematic description of the current status, state-of-the-art, cost effectiveness, development prospects and management formats of CHP (combined heat and power) engineering in England this paper attempts to arouse the keen interest in cogeneration technology of the broad ranks of power engineering workers as well as other related organizations and departments and thereby induce them to apply ever greater efforts in striving for the further advancement of this power generation cycle. **Key words:** *combined heat and power, district heating, independent energy producers*

- (137) **A New Outlook on the Study of Power Plant Cycles and Their Development Trends** Yang Yushen, Zhou Fuqiu, Yu Qing(*Harbin Institute of Technology*)

This paper briefly describes the basic outward features of and recent advances in the research of high capacity power plant cycles. A concise presentation is also given of the future development trends of such cycles. **Key words:** *combined cycle, steam injected gas turbine cycle, coal fired PFBC combined cycle, gasification combined cycle, HAT cycle*

- (143) **Some Research Findings Concerning the Surge Characteristics of Axial Compressors** Wu Yangjie(*Wuxi Division of Harbin Marine Boiler and Turbine Research Institute*)

The author has summed up the experimental test results of several types of compressors, presenting some research findings concerning surge boundaries. The use of these findings can not only be conducive to reducing the number of times of tests but also serves a useful purpose during the calculation of the related parameters on surge boundaries. **Key words:** *compressor, surge characteristics*

- (146) **An Analysis of the Regeneration Restriction of STIG Cycle Heat Recovery Boilers** Zhou Fuqiu, Wang Keguang, Yan Jialu (*Harbin Institute of Technology*)

To make an analysis of the regeneration restriction of heat recovery boilers for steam injected gas turbine cycles, a simulation calculation has been performed of a STIG cycle in the temperature range of 1000~3000 C and pressure ratio range of 8~42. The results of the said calculation show that the type of regeneration restriction which took place on the heat recovery boiler will first of all depend on the given specific conditions and is subject to the influence of injected steam temperature. In addition, the regeneration restriction has also been found to be related to the selected value of the minimally allowable pinch-point temperature difference. **Key words:**